

Mise en œuvre d'une topologie en A pour la conception d'un filtre SIW rétrocouplé

Daouda Lamine Diedhiou^{1,2}, Eric Rius^{1,2}, Jean-François Favennec^{1,2}, Cédric Quendo^{1,2} et Benjamin Potelon^{1,2}

¹Université Européenne de Bretagne, France

²Université de Brest ; CNRS, UMR 6285 Lab-STICC, 6 avenue Le Gorgeu, CS 93837, 29238 Brest cedex3

daouda.diedhiou@gmail.com / eric.rius@univ-brest.fr

Résumé

Dans cet article nous présentons la conception d'un filtre SIW d'ordre 6 avec un rétrocouplage volumique entre les cavités 1 et 6. Ce rétrocouplage permet d'introduire des zéros de transmission et ainsi améliorer la réjection hors bande du filtre. L'idée consiste à réaliser un couplage électrique en couplant ces deux cavités par un tronçon de guide. Les résultats de simulation et de mesure sont convaincants et montrent la pertinence de l'idée qui permet de s'affranchir du report en surface du filtre SIW d'éléments additionnels et donc de proposer une solution simple à coût maîtrisé.

1. Introduction

La prolifération des applications offertes aux utilisateurs des systèmes de télécommunication a conduit à une surexploitation du spectre de fréquence. De ce fait les spécifications imposées aux front-end d'émission / réception et en particulier aux filtres sont de plus en plus sévères. Ainsi, ils doivent présenter de faibles pertes d'insertion, une bonne réjection hors bande, être compacts et faible coût. Aucune technologie, planaire ou volumique n'est capable de répondre en même temps à toutes ces contraintes. D'une part les structures planaires sont compactes, légères, avec un faible coût de fabrication, mais restent limitées en termes de coefficient de surtension ; d'autre part les guides d'ondes possèdent de faibles pertes d'insertion, une bonne sélectivité, un facteur de qualité élevé... En revanche, ils sont encombrants, coûteux et leur intégration avec les circuits planaires est difficile. Récemment un nouveau concept SIW (Substrate integrated Waveguide) permettant d'associer les avantages des structures planaires et volumiques a été développé [1], [2]. La technologie SIW utilise une technologie de fabrication planaire classique de type microruban pour réaliser des cavités intégrées dans le substrat, dans lesquelles on manipule des modes de résonance volumiques [3].

Dans un contexte spatial, les contraintes en termes de sélectivité sont souvent très sévères. L'augmentation du nombre de résonateurs même si elle permet d'améliorer la réjection, engendre un accroissement des pertes d'insertion. La solution consiste à introduire des zéros de transmission hors bande [4], [5]. Pour ce faire on a recours aux couplages croisés entre résonateurs non adjacents [6], [7].

Dans cet article nous présentons les résultats de synthèse d'un filtre SIW d'ordre 6 avec un couplage croisé

« volumique » réalisé dans l'épaisseur du substrat. L'originalité ici, est de proposer une solution entièrement céramique, ne nécessitant pas de couches diélectriques et métalliques additionnelles pour réaliser le couplage dont nous avons besoin, c'est-à-dire pour réaliser un couplage de nature électrique (couplage négatif). En cela la solution proposée est donc plus simple et par conséquent plus faible coût.

2. Conception du filtre SIW à posts inductifs

Un filtre SIW à posts inductifs est caractérisé par des plots métalliques placés à l'intérieur du guide et délimitant les cavités (résonateurs) du filtre. Les faces latérales du substrat sont dans notre cas délimitées par des parois métalliques. Chaque plot est modélisé par un circuit équivalent constitué de deux capacités X_b et d'une self X_a (Figure 1).

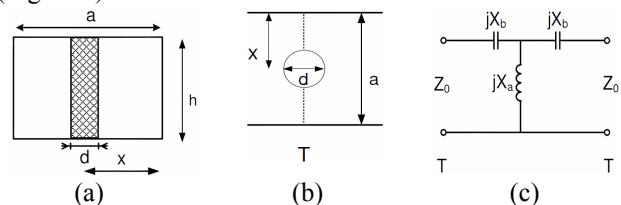


Figure 1. Coupe transversale du guide avec un plot métallique et son circuit équivalent.

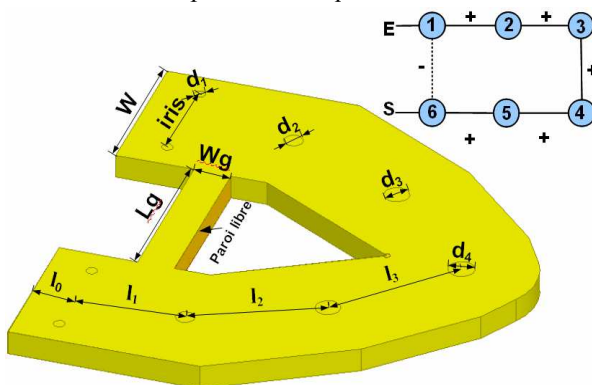
a est la largeur du guide, d le diamètre du plot, h l'épaisseur du substrat et x la distance entre le centre du plot et le coté du guide. Lorsque le diamètre du plot est très petit par rapport à la largeur du guide ($d \ll a$), le circuit équivalent se réduit à une inductance parallèle.

Le filtre que nous présentons ici est un filtre d'ordre 6 avec une fréquence centrale de 30 GHz et une bande passante relative de 9%. Il est conçu et simulé sur le logiciel de simulation électromagnétique 3D HFSSTM avec un substrat alumine d'épaisseur $h = 380 \mu\text{m}$, de permittivité $\epsilon_r = 9,9$ et de tangente de pertes $\tan\delta = 3 \times 10^{-4}$. Pour réaliser le couplage entre résonateurs non adjacents d'un filtre SIW il faut nécessairement replier latéralement le filtre. Ceci permet de rapprocher les cavités et d'avoir l'entrée et la sortie dans le même plan. Une fois replié, il existe plusieurs techniques pour réaliser un couplage croisé [7], [8]. Cependant, pour obtenir des zéros de transmission sur la réponse $|S_{21}|$ il faut que le signe du rétrocouplage soit opposé à celui des couplages directs. C'est-à-dire qu'il faut

A 3D perspective view of a yellow mechanical component. The component has a complex, irregular shape with a central V-shaped cutout. It is divided into six numbered regions: 1 (top left), 2 (top right), 3 (far right), 4 (bottom right), 5 (bottom center), and 6 (bottom left). An arrow labeled 'Entrée' (Entrance) points into a slot on the top left, and an arrow labeled 'Sortie' (Exit) points out from a slot on the bottom left. Two dimensions are labeled: L_g (length of the central cutout) and W_g (width of the central cutout).

Dans cette configuration, le couplage et la création des zéros de transmission dépendent de la longueur L_g et de la largeur W_g du guide. Pour faire passer de l'énergie dans un guide d'ondes, il faut que sa fréquence soit supérieure à la fréquence de coupure du guide. A 30 GHz il est quasi impossible de faire passer de l'énergie entre les cavités 1 et 6 avec un guide de section faible permettant de ne pas trop perturber les cavités.

Afin de nous débarrasser de la contrainte de dimension sur la largeur du guide (fréquence de coupure), nous avons supprimé les parois métalliques latérales du guide de couplage et ainsi matérialisé une structure de propagation constituée de deux plans métalliques horizontaux.



d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	l ₀	l ₁	l ₂	l ₃	iris	W	Wg	Lg
0,233	0,315	0,358	0,466	0,636	1,757	1,735	2,302	1,549	2,425	0,575	2,665

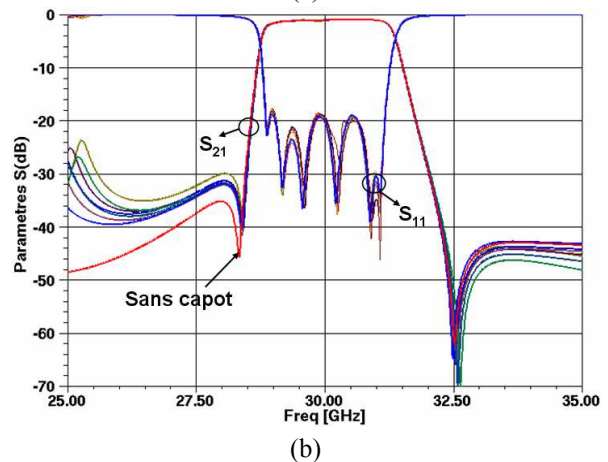
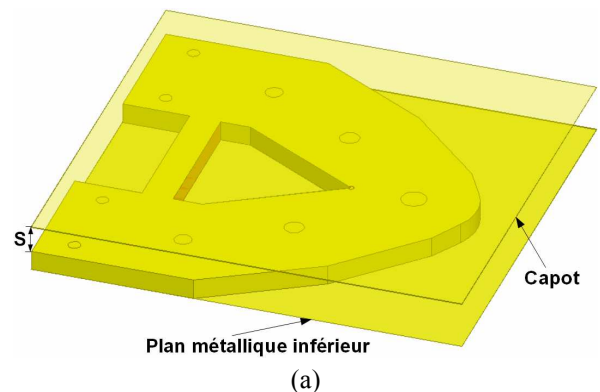
d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	l ₀	l ₁	l ₂	l ₃	iris	W	Wg	Lg
0,233	0,315	0,358	0,466	0,636	1,757	1,735	2,302	1,549	2,425	0,575	2,665

Après une phase d'optimisation et de réglage du filtre nous avons pu réaliser le couplage et obtenu la réponse électrique présentée à la Figure 4. Le filtre présente deux zéros de transmission nets et une forte sélectivité hors

Name	Freq	V
m1	30.0000	-1.6430
m2	28.3200	-41.7621
m3	32.5000	-57.7597

Une étude de sensibilité du couplage a été effectuée et porte sur l'influence éventuelle d'un capot.

Pour anticiper les effets de boîtier sur les performances du filtre, nous avons étudié le comportement de la réponse électrique du filtre dans un boîtier métallique. Nous avons pour cela, collé à un plan métallique sur la face inférieure du filtre et un deuxième plan (capot) mobile est suspendu au-dessus du filtre. Plusieurs positions de ce capot allant de 1 à 6 mm au-dessus du filtre sont considérées.

18^{èmes} Journées Nationales Microondes, 15-16-17 Mai 2013 - Paris

Comme le montre la Figure 5 (b), aucune perturbation significative n'est notée sur les performances électriques du filtre dans la bande. Les zéros de transmission hautes fréquences restent quasi inchangés quelle que soit la position du capot, par contre en basses fréquences on observe une légère remontée des zéros diminuant ainsi la réjection. Ceci montre que le couplage est relativement bien confiné dans le guide de couplage (Figure 6). Lorsque le capot est collé sur le filtre, les zéros de transmission disparaissent (désorientation du champ magnétique). Ceci est dû au fait que le champ magnétique n'arrive plus à boucler correctement sur lui-même (Figure 6 (b)).

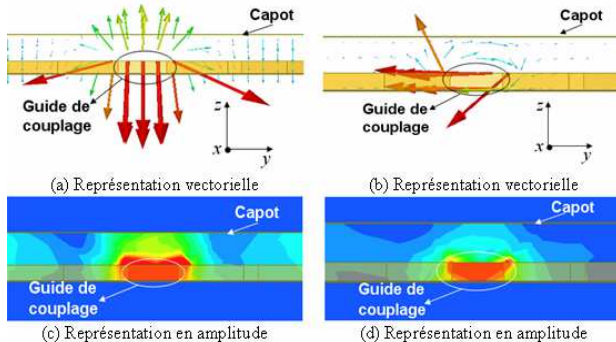


Figure 6. Répartition des champs électrique (a-c) et magnétique (b-d) dans le guide de couplage.

Nous avons réalisé des accès planaires grâce à une transition microruban sur le filtre (Figure 7 (a)). Cette transition permet de passer du mode quasi TEM de la ligne microruban, au mode TE_{101} de la structure volumique en guide, et vice versa, afin de permettre la mesure en cellule.

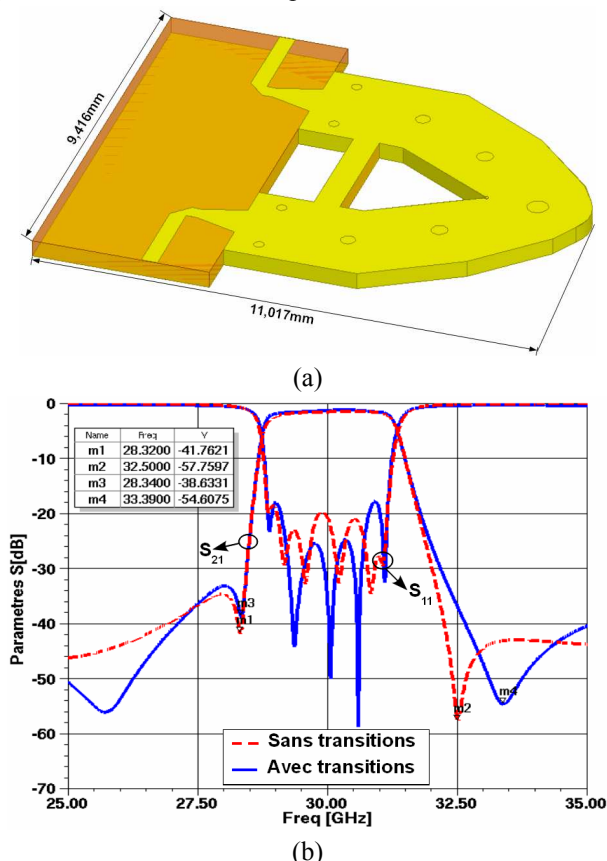


Figure 7. (a) masque du filtre avec transitions et (b) performances électriques

Les performances électriques du filtre sont présentées à la Figure 7 (b) où on note un décalage du zéro de transmission hautes fréquences qui passe de 32,5 GHz (m2 filtre sans transition) à 33,39 GHz (m4 filtre avec transition). Ceci est dû aux couplages parasites entre les accès microrubans, causés d'une part le fait d'avoir les accès dans le même plan et d'autre part par la proximité de ces derniers compte tenu de la taille du filtre. On observe également une légère remontée du zéro de transmission basse fréquences de 41,76 dB (m1) à 38.63 dB (m3). Nous constatons une assez bonne superposition des courbes dans la bande lorsque la transition est bien adaptée. Ceci montre que le passage de l'énergie du mode planaire vers le mode volumique, et vice versa, s'effectue correctement.

5. Résultats expérimentaux

Le filtre a été réalisé chez TFP (Thin Film Products) à Toulouse. La photo du filtre est présentée à la Figure 8 (a). Le filtre a ensuite été mesuré et présente des performances intéressantes [Figure 8 (b)].

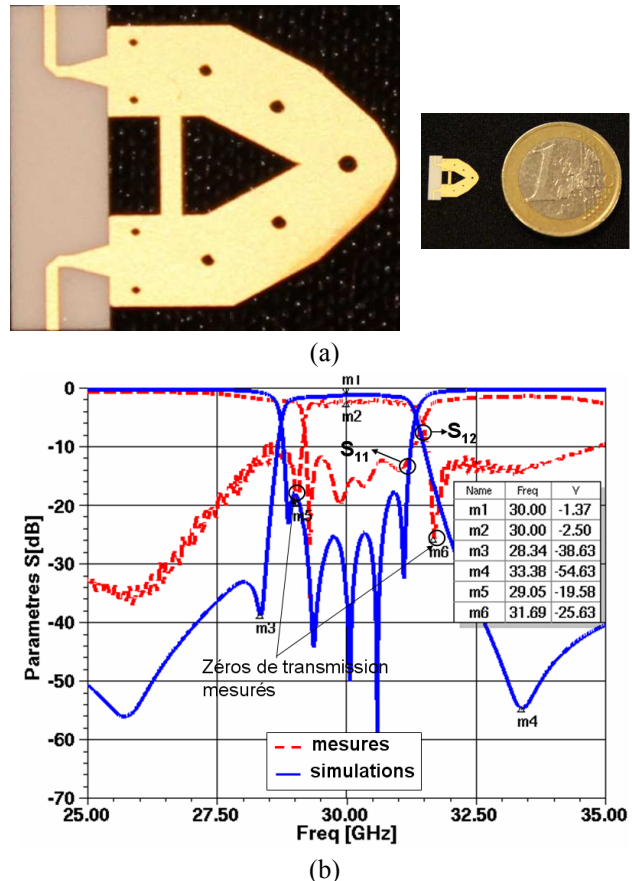


Figure 8. (a) Photo du filtre réalisé et (b) Performances électriques mesurées.

Les résultats de mesures présentés sur la Figure 8 (b) montrent un accord relatif avec la simulation. On note un niveau de pertes d'insertion de 2,5 dB et une adaptation d'environ 12 dB. La réponse du filtre présente bien des zéros de transmission hors bande, mais avec un niveau de réjection moins important, autour de 20 dB. Malgré ces défauts on valide ici la technique de couplage. On note cependant, une contraction de la bande passante du côté gauche. La remontée des zéros de transmission pourrait

être due à un renforcement du couplage par les accès, sans doute à cause de leur proximité. La contraction de la bande passante serait d'une part due à ce phénomène et d'autre part à un effet de boîtier entre les armatures de la cellule de mesure.

6. Conclusion

Cet article porte sur la mise en œuvre d'un rétrocouplage volumique en technologie SIW sur un filtre d'ordre 6. Le filtre présente de bonnes performances dans la bande passante, des réjections supérieures à 40 dB en bande coupée basse et à 50 dB en bande coupée haute. Les résultats de mesure obtenus sont relativement en bon accord avec la simulation et font bien apparaître des zéros de transmission. Ceci montre que le guide de couplage réalisé fonctionne correctement et permet effectivement de réaliser le couplage électrique souhaité. Cependant, des corrections sont à effectuer sur le filtre afin d'éliminer les défauts notés sur la mesure. De nouveaux résultats seront présentés lors de la conférence.

7. Bibliographie

- [1] M. Bozzi, Feng Xu, D. Deslandes, et Ke Wu, « *Modeling and Design Considerations for Substrate Integrated Waveguide Circuits and Components* », in Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services, TELSIKS. 8th International Conference on, 2007, pp. 7 - 16.
- [2] D. Deslandes et Ke Wu, « *Single-substrate integration technique of planar circuits and waveguide filters* », Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on, vol. 51, n° 2, pp. 593 - 596, 2003.
- [3] Cao Tri Bui, P. Lorenz, M. Saglam, W. Kraemer, et R. H. Jansen, « *Investigation of Symmetry Influence in Substrate Integrated Waveguide (SIW) Band-Pass Filters using Symmetric Inductive Posts* », in Microwave Conference, EuMC 2008. 38th European, 2008, pp. 492 - 495.
- [4] Xiaoping Chen, Wei Hong, Zhangcheng Hao, et Ke Wu, « *Substrate integrated waveguide quasi-elliptic filter using extracted-pole technique* », in Microwave Conference Proceedings, Asia-Pacific Conference Proceedings, 2005, vol. 1.
- [5] J. D. Rhodes et R. J. Cameron, « *General Extracted Pole Synthesis Technique with Applications to Low-Loss TE₀₁₁ Mode Filters* », IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 28, n° 9, pp. 1018 - 1028, sept. 1980.
- [6] A. El Mostrah, B. Potelon, E. Rius, C. Quendo, et J.-F. Favennec, « *C-band cross-coupled SIW filter using a novel topology of electric coupling* », in European Microwave Conference (EuMC), 2010, pp. 188 - 191.
- [7] X.-P. Chen et K. Wu, « *Substrate Integrated Waveguide Cross-Coupled Filter With Negative Coupling Structure* », IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 56, n° 1, pp. 142 - 149, janv. 2008.
- [8] B. Potelon, J.-F. Favennec, C. Quendo, E. Rius, C. Person, et J.-C. Bohorquez, « *Design of a Substrate Integrated Waveguide (SIW) Filter Using a Novel Topology of Coupling* », IEEE Microwave and Wireless Components Letters, vol. 18, n° 9, pp. 596 - 598, sept. 2008.